# MODELLING RISK ISSUES IN PORT LOGISTICS

**BISHAL DEY SARKAR**


**BHARTI SCHOOL OF TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY AND MANAGEMENT**

**INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI**

**NEW DELHI-110016, INDIA**

**SEPTEMBER 2021**

# MODELLING RISK ISSUES IN PORT LOGISTICS

by

**BISHAL DEY SARKAR**

**Bharti School of Telecommunication Technology and Management**

**Submitted**

**in fulfilment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy**

**to the**


**INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI**

**NEW DELHI-110016, INDIA**

**SEPTEMBER 2021**

# CERTIFICATE

The Thesis entitled "**Modelling Risk Issues in Port Logistics",** being submitted by **Mr. Bishal Dey Sarkar** to the Indian Institute of Technology Delhi, for the award of the degree of **Doctor of Philosophy (Ph.D.)** is a record bona fide research work carried out by him. He has worked under my guidance and supervision and has fulfilled the requirements for the submission of this thesis, which has attained the standard required for a Ph.D. degree from the Indian Institute of Technology Delhi. The results presented in this thesis have not been submitted elsewhere for the award of any degree or diploma.


**Prof. Ravi Shankar**

Supervisor
Bharti School of Telecommunication
Technology and Management/ DMS
Indian Institute of Technology Delhi
Hauz Khas, New Delhi- 110016
INDIA

**Prof. Arpan Kumar Kar**

Supervisor
Bharti School of Telecommunication
Technology and Management/ DMS
Indian Institute of Technology Delhi
Hauz Khas, New Delhi- 110016
INDIA

# ACKNOWLEDGEMENTS

"We don't accomplish anything in this world alone"

This thesis has been written as part of my doctoral research at Indian Institute of Technology Delhi. This research and its output would not have been possible without the support of different people - some of whom guided me during this journey and numerous others who provided their inputs at various junctures of the study. All these valuable guidance and inputs helped me in improving the depth and quality of work undertaken during this study. My genuine gratitude for all the people who have, in different ways, supported and made my research work possible.

I will like to express my deep gratitude to my Ph.D. supervisors Prof. Ravi Shankar and Prof. Arpan Kumar Kar for showing trust in me and allowing me to work under their guidance. This research work under their constant guidance has been very enlightening and fruitful. Several important discussions, exploratory advices, disapprovals, and keen interest aided me to bring additional rigor and improve quality of this research work. Their constant involvement was very helpful in providing insights and much needed direction, during the course of this study. They have also helped me to develop and evolve as a person, and allowed me to learn to deal with different challenges encountered during this journey. These learnings are very valuable and will stay with me for rest of my life. The thesis could not have been so comprehensive without their deliberations, directions and presentation pattern covering all aspects of port logistics.

I am thankful to members of my Student Research Committee (SRC), Prof. P. Vigneswara Ilavarasan, Prof. Bishwajit Kundu and Prof. Surya Prakash Singh for their inputs, comments and feedback during various phases of my research. Their regular advice to me on different aspects of research has been very helpful and enabled me to do a good quality research. I am

also deeply obliged to all the faculty members of the Bharti School of Telecommunication Technology and Management and Department of Management Studies, IIT Delhi who motivated me to perform my research. I am also deeply obliged to Prof. Alok Choudhary of School of Business and Economics, Loughborough University for his support and guidance.

I will like to thank my fellow research scholars who have supported me in various ways during this journey. I appreciate the support, their valuable inputs and assistance extended to me during my research. My sincere thanks to Veepan Kumar, Dhanya Jothimani, Vipulesh Shardeo, Laxmi Gupta, Anchal Patil, Akanksha Mishra and Devendra Pathak.

I wish to thank my friends and colleagues, whose encouragement and support helped me in completing my research: Jaydeep Bhadra, Rashmi Mondal and Debajyoiti Roy. I cannot imagine completing my PhD without their support.

My sincere gratitude and thanks to my father, Mr. Bijoy Dey Sarkar, my mother Mrs. Aparna Dey Sarkar and my sister Antara for bearing with me and their unconditional, unrelenting support and being there with me in every step of the journey. They have been my true pillars of strength and support. They are special and hence deserve a special mention for their love, moral support and understanding.

Bishal Dey Sarkar

New Delhi

# ABSTRACT

The fourth industrial revolution is bringing about a series of technologies like Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), blockchain, cloud computing, cyber-physical systems, smart manufacturing, sensors etc., in supply chain networks. Port Logistics is a crucial element of supply chain networks and it is inevitably affected by these significant changes. Port and shipping are considered as the key factors for the development and economic growth of a country. Port is not only a linkage between sea and land but it is also an economic concept. It can accommodate warehouses, logistics facilities, cities and industrial complexes that serves coastal and overseas traffic. Port Logistics is a term used to describe logistics and distribution services based at the ports where goods arrive.

Port logistics has been an important component of the Indian economy, accounting for more than 90% of Export/Import (EXIM) trade by volume and 72% by value. More than 1 billion tons of cargo was handled across 200 ports during the financial year 2015. In recent years, global transportation network evolves a lot and led to a situation where Indian ports lacks in necessary draft to handle the largest vessels, inefficiency due to poor hinterland connectivity through highways, road, rail, inland waterways and coastal shipping, inadequate cargo-handling equipment and machinery, inadequate navigational aids, lack of technical expertise and lack of facilities and IT systems. It is, therefore, necessary to assess the inefficiencies in the port logistics to ensure effective operation of ports. This requires a proper understanding of the barriers/inhibitors affecting the port logistics in Industry 4.0 era for emerging economies, risks associated with those barriers, their effect on different economic, environmental and operational criteria and various mitigation strategies to deal with the same. Analysis of previous research in context of Port Logistics highlighted the following areas, which needed further study which were taken up as research objectives:

- To develop a systematic framework for operational and technical issues in port logistics and to study port logistics performance in an Indian shipping port.
- To identify and model various barriers/inhibitors present in port logistics while using smart emerging technologies in the Industry 4.0 era.
- To do the severity analysis and risk profiling of the barriers/inhibitors involved in port logistics in the Industry 4.0 era.
- To develop a model to study the impact of the COVID-19 pandemic on port logistics and the Indian economy.

The first part of the study deals with the development of a comprehensive framework for managing port logistics issues. Issues related to loading/unloading, transit, storage (warehouse), customs clearance, regulatory authorities, port management unit and inland transport connection providers are studied. The study provides a conceptual model along with a final implementable model that would help concerned authorities such as state government, central government and policy-makers to have a profound understanding of the issues and challenges faced at different phases of port logistics. Further, the study aims to study the port logistics performance of an Indian Container Shipping Port which has posted a negative Compound Annual Growth Rate (CAGR) of 0.7 per cent for total traffic in the FY2012 – FY2016.

In the second part of the study, for emerging economies identification of key barriers for port logistics in Industry 4.0 era is carried out. It uses Total Interpretive Structural Modelling and Stakeholder's theory to develop a hierarchical model. It senses the significance of each stakeholder to understand and model the driver and dependence relationships between the barriers. Further, it classifies the barriers into the eight-levels hierarchical model. MICMAC analysis has been used to categorize the identified barriers into four clusters. Finding reveals some of the transitive and significant links, which helps stakeholders to sense the significant areas which need higher attention to restrict the port logistics barriers.

The third part of the research deals with the development of a quantification model to help decision-makers in achieving sustainability in port logistics in the era of Industry 4.0. The model ranks the barriers based on various criteria such as environment, economic and operational. The study is conducted in various phases. In the first phase, ERA is used to obtain the severity value and prioritize the barriers on various criteria. Further, fuzzy set theory is used to remove the vagueness in decision making and expected utility theory is used to obtain the crisp values of the barriers. In the second phase, a new approach has been proposed by changes the importance of criteria to develop a continuum of scenarios and to study the changing behavior of the barriers. Lastly, by identifying various risks associated with barriers of port logistics in Industry 4.0 era and categorize them into subparts based on their intensity.

The last part of the research is focused on developing a scenario-based interval-input-output model to analyze the risk of the COVID-19 pandemic on port logistics and the Indian economy. COVID-19 pandemic is considered as a disruption, which causes explicit threats to the economy of the country. The study investigates how different sectors are interconnected with each other, to analyze the effect of disruptions on matrices like inoperability and economic loss and studies how the effect of disruption propagates from one sector to other sectors.

This study concludes by deriving learnings from different phases and synthesis of research results. Major contributions and significant findings made through this research were also summarized. Various implications and contributions in the domain of port logistics for concerned policy-makers and decision-makers were also discussed. At last, the limitation of research and the scope of future research was also discussed.

**Keywords:** Port logistics, Container Shipping Port, Barriers, Risk profiling, Severity Analysis, TISM, FERA, SSM, SAP-LAP, Input-Output Modelling, Interval Programming, Economic Loss, Inoperability

# सार

चौथी औद्योगिक क्रांति आपूर्ति श्रृंखला नेटवर्क में इंटरनेट ऑफ थिंग्स (IoT), आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस (AI), ब्लॉकचेन, क्लाउड कंप्यूटिंग, साइबर-फिजिकल सिस्टम, स्मार्ट मैन्युफैक्चरिंग, सेंसर आदि जैसी तकनीकों की एक श्रृंखला ला रही है। बंदरगाह रसद आपूर्ति श्रृंखला नेटवर्क का एक महत्वपूर्ण तत्व है और यह इन महत्वपूर्ण परिवर्तनों से अनिवार्य रूप से प्रभावित होता है। किसी देश के विकास और आर्थिक विकास के लिए बंदरगाह और नौवहन को प्रमुख कारक माना जाता है। बंदरगाह न केवल समुद्र और भूमि के बीच एक कड़ी है बल्कि यह एक आर्थिक अवधारणा भी है। यह गोदामों, रसद सुविधाओं, शहरों और औद्योगिक परिसरों को समायोजित कर सकता है जो तटीय और विदेशी यातायात की सेवा करते हैं। बंदरगाहों को वैश्विक परिवहन नेटवर्क और एक जंक्शन के रूप में माना जाता है जहां यह परिवहन के अन्य साधनों से मिलता है। बंदरगाह रसद एक शब्द है जिसका उपयोग उन बंदरगाहों के आधार पर रसद और वितरण सेवाओं का वर्णन करने के लिए किया जाता है जहां माल आता है।

बंदरगाह रसद भारतीय अर्थव्यवस्था का एक महत्वपूर्ण हिस्सा रहा है। यह 90% से अधिक निर्यात / आयात व्यापार को मात्रा द्वारा और 72% मूल्य से स्थानांतरित करने के लिए जिम्मेदार है। वित्तीय वर्ष 2015 में, 1 बिलियन टन से अधिक कार्गो को 200 विभिन्न बंदरगाहों द्वारा संभाला गया था। वैश्विक परिवहन नेटवर्क की जटिलता एक ऐसी स्थिति पैदा करती है जहां भारत में सुविधाओं और आईटी प्रणालियों का अभाव है, तकनीकी विशेषज्ञता की कमी है, अपर्याप्त समुद्री मार्ग पथ प्रदर्शन की कमी है, कार्गो-हैंडलिंग उपकरण और मशीनरी का अभाव है और सबसे बड़े जहाजों को संभालने के लिए आवश्यक गहराई में कमी है । इसके लिए चौथी औद्योगिक क्रांति में उभरती अर्थव्यवस्थाओं के लिए बंदरगाह रसद को प्रभावित करने वाले अवरोधों/अवरोधकों की उचित समझ की आवश्यकता है, उन बाधाओं से जुड़े

जोखिम, आर्थिक, पर्यावरणीय और परिचालन मानदंड जैसे विभिन्न दृष्टिकोणों पर उनके प्रभाव। इसके अलावा, बाधाओं से निपटने के लिए विभिन्न शमन रणनीतियों की पहचान करना आवश्यक है।

बंदरगाह रसद के संदर्भ में पिछले शोध के विश्लेषण में निम्नलिखित क्षेत्रों पर प्रकाश डाला गया है। उन क्षेत्रों में आगे अध्ययन की आवश्यकता है और उन्हें अनुसंधान उद्देश्यों के रूप में लिया गया है।

- भारतीय शिपिंग पोर्ट के प्रदर्शन का अध्ययन करना और भारत में पोर्ट लॉजिस्टिक मुद्दों और चुनौतियों का एक व्यवस्थित ढांचा विकसित करना ।
- चौथी औद्योगिक क्रांति के युग में उभरती प्रौद्योगिकियों का उपयोग करते हुए बंदरगाह रसद में मौजूद विभिन्न बाधाओं / अवरोधकों की पहचान और मॉडल करना।
- चौथी औद्योगिक क्रांति के युग में बंदरगाह रसद में शामिल बाधाओं/अवरोधकों का गंभीरता विश्लेषण और जोखिम रूपरेखा करना।
- बंदरगाह रसद और भारतीय अर्थव्यवस्था पर COVID-19 महामारी के प्रभाव का अध्ययन करने के लिए एक मॉडल विकसित करना।

अध्ययन का पहला भाग पोर्ट लॉजिस्टिक मुद्दों और चुनौतियों के प्रबंधन के लिए एक व्यापक ढांचे के विकास से संबंधित है। इस शोध में लोडिंग / अनलोडिंग, ट्रांजिट, स्टोरेज (वेयरहाउस), सीमा शुल्क निकासी, नियामक प्राधिकरण, पोर्ट मैनेजमेंट यूनिट और अंतर्देशीय परिवहन कनेक्शन प्रदाताओं से संबंधित मुद्दों और चुनौतियों का अध्ययन किया गया है। अध्ययन एक अंतिम कार्यान्वयन मॉडल के साथ एक वैचारिक मॉडल प्रदान करता है जो राज्य सरकार, केंद्र सरकार और नीति-निर्माताओं जैसे संबंधित अधिकारियों को विभिन्न चरणों में भारतीय बंदरगाह रसद प्रणाली द्वारा सामना किए गए मुद्दों और चुनौतियों की गहन समझ रखने में मदद करता है। इसके अलावा, अध्ययन का उद्देश्य एक भारतीय कंटेनर शिपिंग पोर्ट के बंदरगाह रसद प्रदर्शन का अध्ययन करना है, जिसने वित्त वर्ष 2012 - वित्त वर्ष

2016 में कुल यातायात के लिए -0.7 प्रतिशत की नकारात्मक चक्रवृद्धि वार्षिक वृद्धि दर (CAGR) पोस्ट की है।

अध्ययन के दूसरे भाग में, उभरती अर्थव्यवस्थाओं के लिए चौथी औद्योगिक क्रांति के युग में बंदरगाह रसद की प्रमुख बाधाओं का पहचान किया गया है। यह श्रेणीबद्ध मॉडल विकसित करने के लिए TISM और स्टेकहोल्डर के सिद्धांत का उपयोग करता है। यह प्रत्येक हितधारक के महत्व को पहचानता है। बाधाओं के बीच ड्राइविंग शक्ति और निर्भरता संबंधों को समझने और मॉडल करने के लिए। इसके अलावा, यह आठ-स्तरीय पदानुक्रमित मॉडल में बाधाओं को वर्गीकृत करता है। MICMAC विश्लेषण का उपयोग पहचान किए गए अवरोधों को चार समूहों में वर्गीकृत करने के लिए किया गया है। खोज से कुछ सकर्मक और महत्वपूर्ण लिंक का पता चलता है, जो हितधारकों को उन महत्वपूर्ण क्षेत्रों को समझने में मदद करता है, जिन्हें बंदरगाह रसद बाधाओं को रोकने के लिए उच्च ध्यान देने की आवश्यकता है।

शोध का तीसरा हिस्सा चौथी औद्योगिक क्रांति के युग में बंदरगाह रसद में स्थिरता प्राप्त करने में निर्णय लेने वालों की मदद करने के लिए एक परिमाणीकरण मॉडल के विकास से संबंधित है। मॉडल पर्यावरण, आर्थिक और परिचालन जैसे विभिन्न मानदंडों के आधार पर बाधाओं को रैंक करता है। अध्ययन विभिन्न चरणों में आयोजित किया जाता है, पहले चरण में, ईआरए का उपयोग गंभीरता मूल्य प्राप्त करने और विभिन्न मानदंडों पर बाधाओं को प्राथमिकता देने के लिए किया गया है। इसके अलावा, फजी सेट सिद्धांत का उपयोग निर्णय लेने में अस्पष्टता को दूर करने के लिए किया जाता है और अपेक्षित उपयोगिता सिद्धांत का उपयोग बाधाओं के कुरकुरा मूल्यों को प्राप्त करने के लिए किया गया है। दूसरा चरण परिदृश्यों के एक निरंतरता को विकसित करके बाधाओं के बदलते व्यवहार और अन्योन्याश्रयता से संबंधित है। अंत में, चौथी औद्योगिक क्रांति के युग में बंदरगाह रसद की बाधाओं से जुड़े विभिन्न जोखिमों की पहचान करके और उनकी तीव्रता के आधार पर उन्हें उप-भागों में वर्गीकृत किया गया है।

अनुसंधान का अंतिम भाग बंदरगाह रसद और भारतीय अर्थव्यवस्था पर COVID-19 महामारी के जोखिम का विश्लेषण करने के लिए परिदृश्य आधारित अंतराल-इनपुट-आउटपुट मॉडल विकसित करने पर केंद्रित है। COVID-19 महामारी को एक व्यवधान के रूप में माना जाता है, जो देश की अर्थव्यवस्था के लिए स्पष्ट खतरे का कारण बनता है। अध्ययन इस बात की जाँच करता है कि विभिन्न क्षेत्र एक दूसरे से कैसे जुड़े हैं और यह जाँच करता है कि कैसे विघटन का प्रभाव एक क्षेत्र से दूसरे क्षेत्रों तक फैलता है। विघटन के प्रभाव का अध्ययन करने के लिए यह अक्षमता और आर्थिक नुकसान जैसे मेट्रिक्स का उपयोग करता है।

अनुसंधान के इस भाग में संपूर्ण शोध, इसके प्रमुख योगदान और इस शोध के माध्यम से किए गए महत्वपूर्ण निष्कर्षों पर चर्चा करता है। इस शोध के माध्यम से संबंधित नीति-निर्माताओं और निर्णय-निर्माताओं के लिए बंदरगाह रसद के क्षेत्र में विभिन्न निहितार्थ और योगदान पर भी चर्चा की गई है। शोध अंत में, शोध की सीमा और भविष्य के अनुसंधान के दायरे पर भी चर्चा की गई है।

# TABLE OF CONTENTS

# LIST OF FIGURES

# LIST OF TABLES

# ABBREVIATIONS

| | |
|---|---|
| AHP: | Analytic Hierarchy Process |
| ANCOVA: | Analysis of Covariance |
| ANOVA: | Analysis of Variance |
| ANP: | Analytic Network Process |
| ARIMA: | Autoregressive Integrated Moving Average |
| BAP: | Berth Allocation Problem |
| BCBA: | Brihanmumbai Custom Brokers Association |
| BI: | Bureau of Immigration |
| BMCT: | Bharat Mumbai Container Terminal |
| BPCL: | Bharat Petroleum Corporation Limited |
| BRP: | Behavioural Risk Profiling |
| CAGR: | Compound Annual Growth Rate |
| CCI: | Container Corporation of India Ltd |
| CFS: | Container Freight Stations |
| COVID: | Corona Virus Disease |
| CR: | Central Railway |
| CSLA: | Container Shipping Lines Association |
| DOE: | Design of Experiment |
| DPDS: | Direct Port Delivery System |
| EDI: | Electronic Data Interchange |
| ER: | Evidential Reasoning |
| ERA: | Evidential Reasoning Approach |
| EUT: | Expected Utility Theory |
| EXIM: | Export/Import |
| FERA: | Fuzzy-Evidential Reasoning Approach |
| FEU: | Forty-Foot Equivalent Unit |
| FFFAI: | Federation of Freight Forwarders' Associations in India |
| FST: | Fuzzy Set Theory |
| GAIN: | Galician Innovation Agency |
| GDP: | Gross Domestic Product |
| GPS: | Global Positioning System |

| | |
|---|---|
| ICC: | Indian Coastal Conference |
| ICD: | Inland Container Depots |
| ICT: | Information and Communications Technology |
| IHC: | Inland Hauling Charges |
| IIM: | Input-Output Modelling |
| IM: | Interdependency Matrix |
| IN: | Indian Navy |
| IP: | Interval Programming |
| IPPTA: | Indian Private Ports & Terminals Association |
| ISM: | Interpretive Structural Modelling |
| IT: | Information Technology |
| IWAI: | Inland Waterways Authority of India |
| JNPCT: | Jawaharlal Nehru Port Container Terminal |
| JNPT: | Jawaharlal Nehru Port Trust |
| KPI: | Key Performance Indicators |
| LPG: | Liberalization, Privatization, Globalization |
| MADA: | Multiple Attribute Decision Analysis |
| MANSA: | Maritime Association of Nationwide Shipping Agencies |
| MCDM: | Multiple-criteria decision-making |
| NHAI: | National Highways Authority of India |
| NPA: | National Port Authority |
| NSICT: | Nhava Sheva International Container Terminal |
| OCR: | Optical Character Recognition |
| OECD: | Organisation for Economic Cooperation and Development |
| ONE: | Ocean Network Express |
| ORA: | Organization Risk Analyser |
| PL: | Port Logistics |
| POL: | Petroleum, oil and lubricants |
| PTD: | Port Traffic Department |
| QCAP: | Quay Crane Assignment Problem |
| QCSP: | Quay Crane Scheduling Problem |
| RFID: | Radio-frequency identification |
| RMS: | Risk Management System |

SAP-LAP: Situation-Actor-Process-Learning-Action¬-Performance

SEM: Structural Equation Model

SL: Shipping Lines

SSM: Soft System Methodology

SWIFT: Single Window Interface for Trade

TAMP: Tariff Authority for Major Ports

TEU: Twenty-Foot Equivalent Unit

TFN: Triangular Fuzzy Number

THC: Terminal Handling Charges

TISM: Total Interpretive Structural Modelling

TOPSIS: Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

UNCTAD: United Nations Conference on Trade And Development

VIKOR: VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje

VUCA: Volatile, Uncertain, Complex and Ambiguous